

血流制限を施した短期間中強度の筋力トレーニングによる筋力増強効果について

大 城 剛

東亜大学 総合人間・文化学部 スポーツ学研究室

安 陪 大治郎*

東亜大学 総合人間・文化学部 スポーツ学研究室

E-mail: daijiro@toua-u.ac.jp

要 旨

健康な男子学生 8 名を対象に、血流制限を施した筋力トレーニングによる最大脚伸展力の変化、および血中乳酸濃度の動態を観察した。対象期間は連続 10 日間とし、初日と最終日に最大筋力の測定を行った。負荷強度は初日に測定された最大脚伸展力の 30% で 10 回 3 セットとした。また、3 日目と 9 日目のトレーニング前後に血中乳酸濃度を測定した。その結果、血流制限脚と非血流制限脚の最大脚伸展力の増加率に約 2 倍の差が生じた。3 日目の血流制限脚において、筋力トレーニング前後の血中乳酸濃度に統計的な有意差がみられなかった。トレーニングを開始した頃の血流制限脚では、加圧器具を装着した段階で代謝産物の蓄積が始まり、実際に筋繊維に作用したメカニカルストレスよりも、高い生化学的ストレスが作用していたと考えられる。これらの結果から、血流制限脚と非血流制限脚でみられた筋力増強効果の差異は、筋に対する生化学的ストレスの違いに加え、それに随伴する神経生理学的なメカニズムに由来するものと考えられた。

1. はじめに

筋力トレーニングが筋肥大や筋力増強という身体の生理的変化を引き起こすまでの間には、さまざまな過程が介在すると思われるが、その内容についてはまだ十分に解明されていない。筋力トレーニングは単に筋に強いメカニカルストレスを与えるだけではない。神経系や内分泌系、循環系、代謝系などにも負担を与えるために、長期的に身体は適応をめざした変化を起こし、結果として筋肥大や筋力増強が起こる（山田と福永 2003）。

さて、一般的な筋力トレーニングとその効果については諸説あり、トレーニング効果を決定

する上で最も重要な要素はメカニカルストレスであると考えられてきた（石井 2004）。筋肥大や筋力増強を目的とする場合には、65%1RM（最大挙上負荷の 65% 相当の負荷）以上の負荷強度と相応のトレーニング期間を要するのが一般的であったが、近年、血流を制限した状況下で筋力トレーニングを行うと、従来のトレーニング方法に比べて容易に筋力増強できることが分かってきた（Abe et al. 2006）。このような筋力トレーニング法を「加圧トレーニング」という（佐藤 2004）が、この筋力トレーニングによる筋力増強効果のメカニズムや必要な負荷強度などについてはよく分かっていない。

そこで本研究では、血流制限を施した短期間の筋力トレーニングによる最大脚伸展力の変化

を観察し、血流制限下で行われる筋力トレーニングの特徴について検討することを目的とした。

2. 対象と方法

無作為に選ばれた一般男子学生8名(平均身長 168.6 ± 6.4 cm、平均体重 71.4 ± 12.1 kg)を対象者とした。測定初日に両脚の大腿四頭筋の最大脚伸展力を測定し、その翌日から連続8日間の脚伸展筋力トレーニングを行った(図1)。

図1 トレーニングおよび測定日程

日数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
行ったこと	A	B	B&C	B	B	B	B	B	B&C	A

A 筋力測定(初日と最終日)

B 筋力トレーニング(最大筋力の30%相当の負荷強度で10回×3セット)

C 血中乳酸濃度測定(3日目および9日目の筋力トレーニング前後)

すべての被験者において、非利き脚を血流制限脚、利き脚を非血流制限脚とした。フィックの法則 $F=kx$ より、脚の周径囲とゴムの引き伸ばされた長さの差から脚を圧する力を推定した。本研究では被験者全員に約3kgの力が掛かっていたことになる。ここで、Fは脚を圧する力、kはゴム係数、xは脚の周径囲とゴムが引き伸ばされた長さとの差を示している。

筋力トレーニングの内容は、初日に測定された最大筋力の30%に相当する負荷を用いて、10回×3セット(セット間休息1分間)とした。また、筋力トレーニングによる生体反応を評価するために血中乳酸濃度の測定を行った。血中乳酸濃度は3日目および9日目のトレーニング開始前とトレーニング終了2分後に測定した(アークレイファクトリー, 京都)。採血部位は膝小僧とした。平均値の差の検定には対応のあるt検定を用いた。有意水準は5%未満とした。

3. 結果

正味8日間の筋力トレーニングによって、非

表1 血流制限脚および非血流制限脚の最大伸展力(kg)

	初日	最終日
血流制限脚	65.4 ± 7.1	$70.2 \pm 7.0^*$
非血流制限脚	66.9 ± 6.2	$69.3 \pm 7.2^*$

*初日<最終日

血流制限脚における最大脚伸展力は平均3.5%増加したが、血流制限脚における最大脚伸展力は、非血流制限脚の脚伸展力の約2倍の増加率に相当する6.8%の増加を示した(表1)。

非血流制限脚における3日目と9日目の筋力トレーニング前後の血中乳酸濃度は、いずれも統計的な有意差が観察された(表2)。一方、血流制限脚における筋力トレーニング前後の血中乳酸濃度は、9日目だけに統計的な有意差がみられたが、3

日目には統計的な有意差がみられなかった(表2)。また、血流制限脚における3日目の筋力トレーニング前の血中乳酸濃度は、9日目に比べて有意に高かった(表2)。

表2 筋力トレーニング前後の血中乳酸濃度(mM)

		3日目	9日目
血流制限脚	筋力トレーニング前	4.1 ± 1.2	$2.3 \pm 0.7^{\#}$
	筋力トレーニング後	3.5 ± 0.8	$3.5 \pm 1.1^*$
非血流制限脚	筋力トレーニング前	4.1 ± 1.8	2.9 ± 1.5
	筋力トレーニング後	$5.0 \pm 1.6^*$	$4.8 \pm 1.6^*$

*筋力トレーニング前<筋力トレーニング後
#3日目>9日目

4. 考察

本研究で得られた最も興味深い結果は、最大筋力のわずか30%程度の負荷強度で短期間の筋力トレーニングを行ったにもかかわらず、血流制限脚は平均6.8%も筋力アップしたことで

ある。また、両脚の最大脚伸展力の増加率に2倍程度の差異がみられたことも面白い。

一般的に、筋線維が筋力トレーニングによって機械的にダメージを受けたときに、補強されながら回復する「超回復」と呼ばれる生体防御システムによって筋力が増大する(山田と福永2003)。超回復が起こるときには同時に成長ホルモンの分泌が活性化されるため、これまでの一般的な筋力トレーニングにおける筋力増大は生化学的な意味での適応であると解釈できる。本研究で用いた血流制限によって、筋内の酸素供給の低下とともに乳酸などの代謝産物のクリアランスが阻害されたことは想像に難くない。事実、血流制限脚の血中乳酸濃度は3日目において、筋力トレーニング前後に有意差がみられず(表2)、筋力トレーニング前の状態で代謝産物のクリアランスが大きく阻害されていたことが確認された。血中乳酸に関わらず、血流制限によって蓄積したと思われる様々な代謝産物は、代謝物受容反射などを介して内分泌系の活性化を起こすため、実際に筋線維に作用したメカニカルストレスよりも、筋には強い生化学的ストレスが作用していたと考えられる。言い換えると、本研究では「上手に筋をだます」ことによって、筋力増強に成功したことになる。また、血流制限脚における9日目の血中乳酸濃度は、筋力トレーニング前後で統計的に有意差がみられた(表2) ことに加え、筋力トレーニング後の血中乳酸濃度が非血流制限脚と有意差がみられなかった(表2) ことから、血流制限下での筋力トレーニングには、局所的な循環能力の改善効果(代謝産物のクリアランス向上)があることが示唆された。

本研究では、残念ながら対象とした筋の周経圍を測定していないが、8日間という超短期間の筋力トレーニングによって約7%もの筋力増大を説明できるほどの筋肥大は期待しにくい。本研究の結果を総合的に判断すると、血流制限脚と非血流制限脚の筋力増強効果の差異は、筋に対する生化学的な刺激の違いに加え、それに随伴する神経生理学的なメカニズムに由来するものと考えられた。

参考文献

- 1) Abe T, Kearns CF, Sato Y. Muscle size and strength are increased following walk training with restricted venous blood flow from the leg muscle, Kaatsu-walk training. *Journal of Applied Physiology* 100: 1460-1466, 2006
- 2) 石井直方; 加圧トレーニングのメカニズム. *臨床スポーツ医学* 21: 215-223, 2004
- 3) 佐藤義昭; 加圧筋力トレーニングの歴史と最近の動向. *臨床スポーツ医学* 21: 209-212, 2004
- 4) 山田茂, 福永哲夫編著; 骨格筋に対するトレーニング効果 [第2版]. NAP出版. 2003